

PROJECTION ALIGNER

Patent Number: JP5326366
Publication date: 1993-12-10
Inventor(s): KAWAKUBO SHOJI; others: 02
Applicant(s):: NIKON CORP
Requested Patent: ☐ JP5326366
Application Number: JP19920128370 19920521
Priority Number(s):
IPC Classification: H01L21/027 ; G03F7/20
EC Classification:
Equivalents:

Abstract

PURPOSE:To obtain a projection aligner wherein its resolution is high, its depth of focus is large and its irradiation uniformity is excellent when an ordinary reticle which is used in the lithographic process of a semiconductor element is projected and aligned.

CONSTITUTION:An irradiation light flux from a light source 1 is divided into four fluxes by using a first prism 20 to a third prism 22. The four light fluxes are incident on four sets of fly-eye lenses 40a to 40d, 41a to 41d whose centers are arranged in positions which are eccentric from the optical axis AX of an irradiation optical system. A main control system 50 moves the first to third prisms 20 to 22 individually to the direction of the optical axis by working in conjunction with a change in positions of the four sets of the fly-eye lenses 40a to 40d, 41a to 41d. The four light fluxes can be always made accurately incident on the individual corresponding fly-eye lenses 40a to 40d, 41a to 41d.

Data supplied from the esp@cenet database - 12

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-326366

(43)公開日 平成5年(1993)12月10日

(51)Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/027				
G 0 3 F 7/20	5 2 1	9122-2H 7352-4M	H 0 1 L 21/ 30	3 1 1 L

審査請求 未請求 請求項の数3(全 10 頁)

(21)出願番号 特願平4-128370

(22)出願日 平成4年(1992)5月21日

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 川久保 昌治

東京都品川区西大井1丁目6番3号 株式
会社ニコン大井製作所内

(72)発明者 馬込 伸貴

東京都品川区西大井1丁目6番3号 株式
会社ニコン大井製作所内

(72)発明者 白石 直正

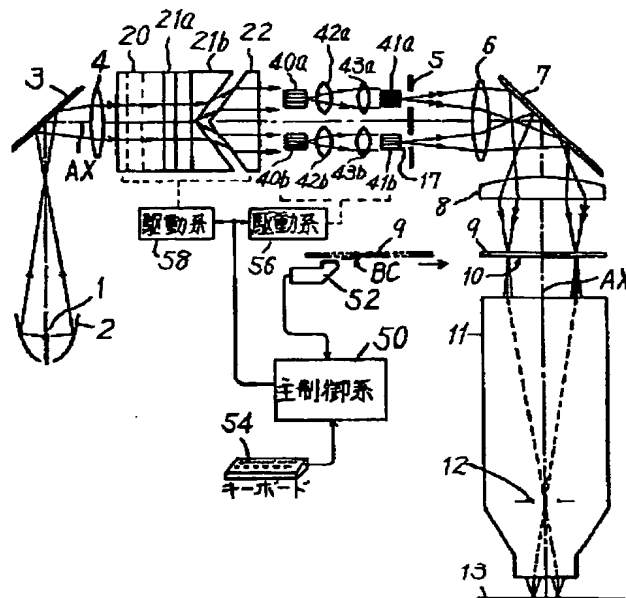
東京都品川区西大井1丁目6番3号 株式
会社ニコン大井製作所内

(54)【発明の名称】 投影露光装置

(57)【要約】

【目的】 半導体素子のリソグラフィ工程で使われる通常のレチクルを投影露光する際、高解像度で大焦点深度が得られるとともに、照度均一性の優れた投影露光装置を得る。

【構成】 第1～第3プリズム20～22を用いて光源1からの照明光束を4分割して、この4つの光束を照明光学系の光軸AXから偏心した位置に中心が配置された4組のフライアイレンズ(40a～40d、41a～41d)の各々に入射させる。主制御系50は、4組のフライアイレンズの位置変更に連動して第1～第3プリズム20～22の各々を光軸方向に移動し、常に4つの光束をその対応した各フライアイレンズに正確に入射させる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光源からの照明光を周期性のパターン部分を有するマスクに照射する照明光学系と、前記マスクのパターンの像を感光基板に結像投影する投影光学系とを備えた投影露光装置において、

前記照明光学系の光路中の前記マスクのパターンに対するフーリエ変換面、もしくはその近傍面内に射出側焦点面が配置されるとともに、前記マスクのパターンの周期性に応じて決まる量だけ前記照明光学系の光軸に対して偏心した離散的な4つの位置の各々に中心が配置される4組のフライアイレンズと；前記光源からの照明光を2分割するとともに、該分割した2本の光束の各々を、前記照明光学系の光軸とほぼ垂直な面内で、所定の第1方向に関して前記光軸から所定の第1距離だけ離してほぼ平行に射出する第1光束分割部材と；該射出された2本の光束の各々を2分割するとともに、該分割した2組の2本の光束の各々を、前記照明光学系の光軸とほぼ垂直な面内で、前記第1方向と交差する第2方向に関して前記光軸から所定の第2距離だけ離してほぼ平行に射出する第2光束分割部材と；前記4組のフライアイレンズの各々に、前記第2光束分割部材から射出される4本の光束が入射するように、前記第1光束分割部材と前記第2光束分割部材との少なくとも一方を駆動して前記第1距離と前記第2距離との少なくとも一方を調整する制御手段とを備えたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項2】 前記第1光束分割部材と前記第2光束分割部材とはともに、凹状のV型プリズムと凸状のV型プリズムとを組み合わせたものであり、前記制御手段は、前記凹状のV型プリズムと凸状のV型プリズムとを前記照明光学系の光軸に沿った方向に相対移動することにより、前記第1距離、または前記第2距離を調整することを特徴とする請求項1に記載の投影露光装置。

【請求項3】 前記制御手段は、前記4組のフライアイレンズの各々から射出される光束の光量がほぼ等しくなるように、前記照明光学系の光軸とほぼ垂直な面内で、前記光軸に対して前記第1光束分割部材と前記第2光束分割部材との少なくとも一方を相対移動することを特徴とする請求項2に記載の投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、半導体集積回路、または液晶デバイス等のパターン形成に使用する投影露光装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】半導体素子等の回路パターン形成には、一般にフォトリソグラフィと呼ばれる工程が必要である。この工程では通常、レチクル（マスク）パターンを半導体ウエハ等の基板上に転写する方法が採用される。基板上には感光性のフォトレジストが塗布されており、

照射光像、すなわちレチクルパターンの透明部分のパターン形状に応じて、フォトレジストに回路パターンが転写される。一般に投影露光装置（例えばステッパー）では、レチクル上に描画された転写すべき回路パターンの像が、投影光学系を介して基板（ウエハ）上に投影、結像される。

【0003】また、レチクルを照明するための照明光学系中には、例えばフライアイ型、またはロッド型等のオブチカルインテグレータが使用されており、レチクル上に照射される照明光の強度分布がほぼ均一化される。この均一化を最適に行うため、フライアイ型オブチカルインテグレータ（フライアイレンズ）を用いる場合には、レチクル側焦点面（射出面側）とレチクル面（パターン面）とはほぼフーリエ変換の関係で結ばれており、さらにレチクル側焦点面と光源側焦点面（入射面側）ともフーリエ変換の関係で結ばれている。

【0004】従って、レチクルのパターン面とフライアイレンズの光源側焦点面（正確にはフライアイレンズを構成する個々のレンズエレメントの光源側焦点面）とは、結像関係（共役関係）で結ばれている。このため、レチクル上ではフライアイレンズの各レンズエレメント（2次光源）からの照明光がコンデンサーレンズ等によってそれぞれ加算（重畳）されることで平均化され、レチクル上の照度均一性を良好にすることが可能になっている。

【0005】ところで、最近ではレチクルの回路パターンの透過部分のうち、特定の部分からの透過光の位相を、他の透過部分からの透過光の位相より π (rad)だけずらす、いわゆる位相シフトレチクルが提案されており、例えば特公昭62-50811号公報には空間周波数変調型の位相シフトレチクルが開示されている。この位相シフトレチクルを使用すると、従来よりも微細なパターンの転写が可能となる。ところが、位相シフトレチクルについてはその製造工程が複雑になる分コストも高く、また検査及び修正方法も未だ確立されていないので、多くの問題が残されている。

【0006】そこで、位相シフトレチクルを使用しない投影露光技術として、レチクルの照明方法を改良することで転写解像力を向上させる試みがなされている。その1つの方式として、照明光学系の瞳面（フーリエ変換面）、すなわちフライアイレンズの射出側焦点面近傍に輪帯状の絞り（空間フィルター）を配置し、照明光学系の光軸の回りに分布する照明光束を部分的にカットして照明光束の光量分布を輪帯状に規定することで、レチクルパターンに達する照明光束に一定の傾斜を持たせる方式（輪帯照明法）が提案されている。

【0007】さらに高解像力、大焦点深度の投影露光を達成するため、例えば特開平4-101148号公報に開示されているように、フライアイレンズの射出側焦点面近傍に照明光学系の光軸に対して偏心した複数（2つ

または4つ)の位置の各々に開口を有する絞り(空間フィルター)を配置し、レチクルパターンに対して特定方向から照明光束を所定角度だけ傾斜させて照射する方式(傾斜照明法、または変形光源法)も提案されている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら上記の如き傾斜照明法においては、有効なレンズエレメント(すなわち空間フィルターを通過可能な2次光源)の数が減少してレチクル上での照度均一化効果が低下し、レチクルの全面に渡って均一な照度分布を保証することが難しくなるといった問題が生じる。また、空間フィルター等のような部分的に照明光束をカットする部材を設けた系では光量損失が大きく、当然のことながらレチクル上、またはウェハ上での照明強度(照度)を大幅に低下させることになり、照明効率の低下に伴う露光処理時間の増大という問題に直面する。さらに、照明光学系中のフーリエ変換面には、光源からの光束が集中して通るため、空間フィルター等の遮光部材の光吸収による温度上昇が著しくなり、照明光学系の熱的な変動による性能劣化の対策(空冷等)も考える必要がある。

【0009】また、フライアイレンズの射出側焦点面近傍に上記の如き絞りを設けると、複数のレンズエレメントによる2次光源像のうちのいくつかは、絞りの光透過部と遮光部との境界部に重なり得る。このことは、フライアイレンズに対する絞りの取付精度によって、上記境界部付近の2次光源像が絞りで遮光されたり、逆に透過したりすることを意味する。すなわち、照明光量のばらつき等の不安定要因になるとともに、上記絞りを射出してレチクルに入射する各光束の光量が互いに異なってしまうという問題も生じる。また、傾斜照明法ではレチクルパターンの微細度(線幅、ピッチ等)に応じて4つの開口の位置(換言すればフーリエ変換面内での光量分布)を変更しなければならず、照明光学系中で複数枚の絞りを交換可能に構成する必要があり、装置が大型化するという問題もある。

【0010】本発明は上記問題点を鑑みてなされたもので、高解像度、かつ大焦点深度が得られるとともに、照度均一性の優れた投影露光装置を提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決する為の手段】上記問題点を解決するため本発明においては、照明光学系の光路中のレチクル9のパターン10に対するフーリエ変換面(照明光学系の瞳面17)、もしくはその近傍面内に射出側焦点面が配置されるとともに、レチクル9のパターン10の周期性に応じて決まる量だけ照明光学系の光軸AXに対して偏心した離散的な4つの位置の各々に中心が配置される4組のフライアイレンズ(第1フライアイレンズ群40a~40d、及び第2フライアイレンズ群41a~41d)と、光源1からの照明光を2分割するとともに、この分

割した2本の光束の各々を、照明光学系の光軸AXとほぼ垂直な面内で、所定の第1方向(X方向)に関して光軸AXから所定の第1距離だけ離してほぼ平行に射出する第1光束分割部材(多面体プリズム20、21)と、この射出された2本の光束の各々をさらに2分割するとともに、この分割した2組の2本の光束の各々を、照明光学系の光軸AXとほぼ垂直な面内で、第1方向と交差する第2方向(Y方向)に関して光軸AXから所定の第2距離だけ離してほぼ平行に射出する第2光束分割部材(多面体プリズム21、22)と、4組のフライアイレンズ(第1フライアイレンズ群40a~40d)の各々に、第2光束分割部材から射出される4本の光束が入射するように、第1光束分割部材と第2光束分割部材との少なくとも一方を駆動して第1距離と第2距離との少なくとも一方を調整する制御手段(主制御系50、駆動系58)とを設ける。

【0012】

【作用】本発明では、照明光学系の光路中のマスクのパターンに対するフーリエ変換面、もしくはその近傍面内に射出側焦点面を配置するとともに、マスクのパターンの周期性に応じて決まる量だけ照明光学系の光軸に対して偏心した離散的な4つの位置の各々に4組のフライアイレンズを配置し、かつ2組の光束分割部材を用いて光源からの照明光を4本の光束に分割して4組のフライアイレンズの各々に入射させることとした。このため、マスクのパターンの周期性に応じて4組のフライアイレンズ(射出側焦点面)の位置を任意に変更しても、これに追従(連動)して4本の光束を正確に4組のフライアイレンズの各々に入射させることが可能となる。また、2組の光束分割部材(多面体プリズム等)を用いるため、光源からの照明光を光量損失なく分割して4組のフライアイレンズの各々に導くことができる。

【0013】

【実施例】図1は本発明の実施例による投影露光装置の概略的な構成を示す図であって、光束分割部材として多面体プリズム(V型プリズム)を使用したものである。図1において、水銀灯等の光源1より放射される照明光束は楕円鏡2で焦点され、折り曲げミラー3及びインプットレンズ4によりほぼ平行光束となって光束分割部材(20、21a、21b、22)に入射する。図2に示すように光束分割部材は、V型の凹部を持つ多面体プリズム(第1プリズム)20、V型の凸部を持つ多面体プリズム21aとV型の凹部を持つ多面体プリズム21bとを貼り合わせたプリズム(第2プリズム21)、及びV型の凸部を持つ多面体プリズム(第3プリズム)22から構成されている。従って、これら4つのプリズムの屈折作用によって光源1からの照明光束は4つの光束に分割され、各光束は別々の第2フライアイレンズ40a~40d(図1では40a、40bのみ図示)に入射する。

【0014】ところで、多面体プリズム20と21aとは本発明の第1光束分割部材に相当し、ここで光源1からの照明光束はY方向に関してほぼ対称に、かつほぼ同一光量となるように2分割されるとともに、X方向（図1では紙面と垂直な方向）に関して所定間隔（第1距離であって、後述する瞳面17内での第1フライアイレンズ41aと41d、または41bと41cの各中心のX方向に関する間隔に相当）だけ離して2つの光束を互いにほぼ平行（光軸AXにほぼ平行）に射出する。一方、多面体プリズム21bと22とは本発明の第2光束分割部材に相当し、ここで多面体プリズム20、21aで分割された2つの光束の各々は、X方向に関してほぼ対称に、かつほぼ同一光量となるように2分割されるとともに、Y方向（図1では紙面と平行な方向）に関して所定間隔（第2距離であって、後述の瞳面17内での第1フライアイレンズ41aと41b、または41cと41dの各中心のY方向に関する間隔に相当）だけ離して4つの光束を互いにほぼ平行（光軸AXにほぼ平行）に射出する。

【0015】また、プリズム20、21、22はそれぞれ独立に照明光学系の光軸AXに沿った方向（図2ではZ方向）に移動可能に構成されている。従って、第1プリズム20と第2プリズム21とを相対的に光軸方向に移動してその間隔を調整することにより、多面体プリズム21aから射出される2つの光束のX方向に関する間隔（第1距離）を任意の値に設定することが可能となっている。同様に、第2プリズム21と第3プリズム22とを相対的に光軸方向に移動してその間隔を調整することにより、第3プリズム22から射出される2組の2つの光束のY方向に関する間隔（第2距離）を任意の値に設定することが可能となっている。尚、本実施例では多面体プリズム21aと21bとを一体に構成しているため、第1プリズム20と第2プリズム21との光軸方向の間隔を変化させる場合、必要に応じて上記動作に連動して第3プリズム22も光軸方向に微動させる必要がある。また、本実施例では多面体プリズム21aと21bとを貼り合わせて一体に構成しているが、それぞれ独立に光軸方向に移動可能に構成しても構わない。

【0016】さて、4組の第2フライアイレンズ40a～40dを射出した各光束は、各第2フライアイレンズに対応した4組のガイド光学系（但し、図1では第2フライアイレンズ40c、40dに対応したガイド光学系を省略してある）42a、43a、及び42b、43bにより、4組の第1フライアイレンズ41a～41d（図1では41a、41bのみ図示）の各々に入射する。このとき、第1フライアイレンズ41aには第2フライアイレンズ40aからの光束のみ入射し、41bには40bからの光束のみ、41cには40cからの光束のみ、41dには40dからの光束のみ入射する。第1フライアイレンズ41a～41dを射出した各光束はコ

ンデンサーレンズ6、8、折り曲げミラー7に導かれ、レチクル9の下面側に形成されたパターン10を照明する。パターン10を透過、回折した光は投影光学系11により集光結像され、ウエハ13上にパターン10の像を形成する。尚、同図中の面12は投影光学系11中のパターン10に対するフーリエ変換面（以後、投影光学系11の瞳面と称す）を表わし、この投影光学系11の瞳面12に可変絞り（N.A絞り）を設ける場合もある。

【0017】一方、照明光学系中にも、パターン10に対するフーリエ変換面に相当する照明光学系の瞳面17が存在するが、前述の4組の第1フライアイレンズ41a～41dの射出側焦点面（レチクル側焦点面）は、この照明光学系の瞳面17とほぼ一致した位置にある。また、第2フライアイレンズ40a～40dの射出面は、ガイド光学系42、43によって第1フライアイレンズ41a～41dの入射面に対するフーリエ変換面になっている。但し、厳密にフーリエ変換の関係に維持される必要はなく、要は第2フライアイレンズの各レンズエレメントから射出した光束が、第1フライアイレンズの入射面上で重畳されているような関係が維持されていれば良い。

【0018】ところで、第1フライアイレンズ41a～41dは光軸AXより離れた位置にあるため、レチクルパターン10中で特定の方向及びピッチを有するパターンの投影像の焦点深度を極めて大きくすることが可能となっている。但し、レチクルパターン10の周期方向やピッチは、使用するレチクル9により異なることが予想される。従って、各レチクル毎にそのパターンの周期性（周期方向、ピッチ、線幅等）に応じて照明条件（換言すれば瞳面17内での4組の第1フライアイレンズの各中心位置）が最適となるように、駆動系56により4組の第1フライアイレンズ41a～41d、及びガイド光学系（42a、42b、43a、43b等）、あるいは必要ならば第2フライアイレンズ40a～40dの位置等を変更可能としておく。また、後述（図3）の如く本実施例では第1、第2フライアイレンズ、及びガイド光学系を一体に保持部材に固定するため、レチクルパターンの周期性に応じて4組の第1フライアイレンズ41a～41d（保持部材）を移動するとき、光束分割部材20～22から射出される4つの光束がその対応する第2フライアイレンズ40a～40dの各々に正確に入射するように、上記移動に連動（追従）して駆動系58により3つのプリズム20～22の各々を独立に光軸方向に移動可能に構成してある。

【0019】また、瞳面17内での4組の第1フライアイレンズ41a～41dの各位置によっては、3つのプリズム20～22を一体に光軸AXを回転中心として回転可能に構成しておき、3つのプリズム20～22の光軸方向の相互間隔の調整と並行して回転させることで、

4つの光束を第2フライアイレンズ40a~40dの各々に入射させるようにしても良い。さらに、3つのプリズム20~22を一体に光軸AXと垂直な面(図2中のXY平面)内で2次元移動可能に構成し、光源1からの照明光束とプリズム(20~22)とを光軸AXと垂直な面内で相対移動させることにより、第3プリズム22から射出される4つの光束の各光量を微調整して互いにほぼ等しくするようにしても良い。このとき、レチクル9に照射される4つの光束の各光量を光電検出器にて検出し、この検出値に基づいて上記相対移動を制御することが望ましい。また、3つのプリズム20~22を移動させる代わりに、例えばレンズ4と第1プリズム20との間に配置した平行平板ガラスを傾斜させることにより、第1プリズム20に入射する照明光束の位置を微動させるように構成しても良い。

【0020】尚、駆動系56、58は主制御系50の動作命令により動作するが、このときの位置等の設定条件はキーボード54より入力する。あるいはバーコードリーダー52によりレチクル9上のバーコードパターンを読み、その情報に基づいて設定を行っても良い。レチクル9上のバーコードパターンに、上記照明条件を記入しておいても良いし、あるいは主制御系は、レチクル名とそれに対応する照明条件を記憶(予め入力)しておき、バーコードパターンに記されたレチクル名と上記記憶内容とを照合して照明条件を決定しても良い。

【0021】図3は、図1中の光束分割部材20~22から第1フライアイレンズ41a~41dまでの拡大図である。ここでは、第1プリズム20と多面体プリズム21a、及び多面体プリズム21bと第3プリズム22との互いに対向する面は平行であるものとし、さらに第1プリズム20の入射面と第3プリズム22の射出面とは光軸AXと垂直であるものとする。また、第2プリズム21の貼り合わせ面、すなわちプリズム21aの射出面、及びプリズム21bの入射面も光軸AXと垂直であるものとする。

【0022】さて、第1プリズム20は保持部材23により保持され、第2プリズム21は保持部材24により保持され、第3プリズム22は保持部材25により保持される。尚、多面体プリズム21aと21bとを貼り合わせておかなくとも、保持部材24に対して両者を密着、もしくは所定間隔だけ離して一定に固定しておくだけでも良い。保持部材23~25はそれぞれ可動部材(26a、26b)、(27a、27b)、及び(28a、28b)により保持され、固定部材29a、29b上を図中左右方向、すなわち光軸AXに沿った方向に可動となっている。この動作はモータ等の可動部材(30a、30b)、(31a、31b)、及び(32a、32b)によって行われる。

【0023】従って、第1~第3プリズム20~22の各々は独立に移動可能であるので、3つのプリズムの光

軸方向の相互間隔を任意に変更することにより、射出する4光束のX、Y方向の間隔(第1、第2距離)の各々を独立に調整でき、光軸AXと垂直な面内での4光束の各位置を任意、例えば光軸AXを中心として放射方向に変更することが可能となっている。例えば、レチクルパターン10が2次元の周期性パターンであり、かつX、Y方向の各ピッチが異なっているときには、瞳面17内で光軸AXを中心とした長方形の頂点位置の各々に、4組の第1フライアイレンズの各中心を一致させる必要があるが、このような場合にも3つのプリズム20~22の相互間隔を調整することにより、射出される4光束をその対応する第2フライアイレンズ40a~40dの各々に正確に入射させることが可能となる。また、上述した如く3つのプリズム20~22を一体に光軸AXを中心として回転可能に構成すれば、射出される4光束を光軸AXを中心とする同心円方向に変更することも可能となる。

【0024】さて、第3プリズム22から射出する4つの光束は、第2フライアイレンズ40a~40dに入射する。図3では第2フライアイレンズ中の1つと、第1フライアイレンズ中の1つと、1つのガイド光学系(42、43)が1つの保持部材44a~44d(図3では44a、44bのみ図示)に保持されている。ここで、上記の如く光束分割部材20~22から射出される4つの光束が、光軸AXを中心とした放射方向や同心円方向を始めとして任意に位置変化する場合、これらの光束が入射する第2フライアイレンズ40a~40dの位置も、それに応じて可変となる必要がある。図4は、このための2次元(光軸AXに垂直な面内方向)な動作を可能とする機構の例を示す。図4では図3の如く、第2フライアイレンズ、ガイド光学系、及び第1フライアイレンズが一体に保持された部材(保持部材44a~44d)を光軸AXのレチクル側方向から見た図である。

【0025】図4において、第1、第2フライアイレンズ、及びガイド光学系は保持部材44a~44dに保持され、それらはさらに可動部材45a~45dにより保持され、かつ可動部材46a~46dによって光軸AXを中心として放射方向に可動となっている。また、可動部材46a~46dは固定部材49a~49d上を、前記放射方向とほぼ直交する方向(ほぼ同心方向)に移動可能であるので、保持部材44a~44d、すなわち第1フライアイレンズ41a~41dはそれぞれ光軸AXに垂直な面内(紙面内)に2次元的に可動である。従って、第2フライアイレンズ、第1フライアイレンズ、及びガイド光学系を一体に保持及び移動することにより、第1フライアイレンズと第2フライアイレンズとの間の光学的な位置関係をずらすことなく、第1フライアイレンズから射出する各光束の位置を光軸AXと垂直な面内で任意に変更することができる。

【0026】尚、図4中の可動部材45a~45dの動

作方向は光軸AXを中心とする放射方向に限定されるわけではなく、光軸AXに垂直な任意の方向であって良い。また、図3において保持部材44a、44bより突き出た部材48a、48bは遮光板である。これにより、光束分割部材20～22から発生し得る迷光を遮断し、不必要な光がレチクル9へ達することを防止する。また、遮光板48a、48bが光軸AX方向に各々ずれていることにより、保持部材44a、44bの可動範囲の制限を少なくすることができる。

【0027】ところで、上記構成の装置では4組のフライアイレンスを設けていたが、例えばレチクルパターンが1次元の周期性パターンである場合には2組のフライアイレンスを用いるだけで十分である。このような場合には、4組のフライアイレンスの中から2つを選択し、この2つのフライアイレンスをレチクルパターンの周期性に応じた量だけ光軸AXから偏心した位置にその中心をほぼ一致させる。つまり、本実施例では図4中に示した駆動機構により、まず任意の2組の保持部材（例えば44c、44d）を照明光路外へ退避させた後、残りの2組の保持部材44a、44bを駆動して、レチクルパターンの周期性に応じた量だけ光軸AXから偏心した位置に位置決めする。

【0028】さらに、第2フライアイレンズ40a、40bの位置に応じて3つのプリズム20～22を移動し、第1プリズム20と第2プリズム21との間隔と、第2プリズム21と第3プリズム22との間隔とのいずれか一方が零となるように2つのプリズムを密着させる。例えば、第2フライアイレンズ40a、40bが光軸AXに関してほぼ対称に、かつX方向に所定間隔だけ離れて配置されている場合には、第2プリズム21と第3プリズム22とを密着させてその間隔を零とする。この結果、光源1からの照明光束は第1プリズム20と第2プリズム21（すなわち多面体プリズム21a）とによって2分割されるのみで、多面体プリズム21b及び第3プリズム22では分割されない。従って、2組のフライアイレンズのみを用いる場合であっても、光源1からの照明光束が光束分割部材20～22で光量をほとんど損失することなく2分割され、2組の第2フライアイレンズの各々に集中して入射することになる。

【0029】また、傾斜照明法を適用しないレチクル、例えば空間周波数変調型の位相シフトレチクル等に対しては、従来通り瞳面17での照明光束の光量分布を光軸AXを中心とする円形（または矩形）領域に規定してレチクルパターンへの照射を行わなければならない。このような場合には、第1プリズム20と第2プリズム21、及び第2プリズム21と第3プリズム22とがいずれも密着してその光軸方向の間隔が零となるように移動するとともに、4組のフライアイレンズが光軸AXを中心として一体となるように移動する。この結果、光源1からの照明光束は光束分割部材20～22で分割され

ず、光量損失なく一体化された4組のフライアイレンズに入射することになり、上記構成の装置において従来通りの照明（以下、通常照明と称す）を採用することが可能となる。尚、4組のフライアイレンズを移動して一体化（合体）する必要がある場合、本実施例による装置では第1、第2フライアイレンズ、及びガイド光学系を一体に保持する保持部材44a～44dによって、少なくとも4組の第1フライアイレンズ41a～41dの各接触部分に隙間が生じないように保持部材44a～44dを構成しておくことが望ましい。

【0030】以上から明らかなように、上記構成の装置では光学部材の交換等を行うことなく、傾斜照明と通常照明との切り換え、及び傾斜照明であっても4組のフライアイレンズを用いる場合と2組のフライアイレンズを用いる場合との切り換えを容易に行うことが可能となる。また、例えばインプットレンズ4と第1プリズム20との間にズームレンズ系を配置し、第1プリズム20に入射する照明光の光束径（大きさ）を可変に構成しておくこと、より一層光量損失を低減できるとともに、第2プリズム22から射出された光束が第2フライアイレンズの入射面の一部分のみに集中して入射することを防止することができる。例えば、4組のフライアイレンズを光軸AXを中心として放射方向に移動する場合、各第2フライアイレンズの入射面の大きさ（X、Y方向の幅）に応じて、ズームレンズ系により第1プリズム20に入射する照明光の光束径を調整するだけで良い。また、上記の如きズームレンズ系を設けておくと、通常照明を行う際には照明光学系のコヒーレンスファクター σ を可変にできる。

【0031】次に、露光すべきレチクルパターンに応じて、これらの系をどのように最適にするかを説明する。4組の第1フライアイレンズの各位置（光軸と垂直な面内での位置）は、転写すべきレチクルパターンに応じて決定（変更）するのが良い。つまり、各第1フライアイレンズからの照明光束が転写すべきパターンの微細度（ピッチ）に対して最適な解像度、及び焦点深度の向上効果を得られるようなレチクルパターンに入射する位置（入射角）とすれば良い。

【0032】そこで、各第1フライアイレンズの位置決定の具体例を、図5及び図6を用いて説明する。図5は第1フライアイレンズ41a、41bからレチクルパターン10までの部分を模式的に表わす図であり、第1フライアイレンズ41のレチクル側焦点面414a、414bが、レチクルパターン10のフーリエ変換面17と一致している。また、このとき両者をフーリエ変換の関係とならしめるレンズ、またはレンズ群を、一枚のレンズ6として表してある。さらに、レンズ6のフライアイレンズ側主点から第1フライアイレンズ41のレチクル側焦点面414a、414bまでの距離と、レンズ6のレチクル側主点からレチクルパターン10までの距離は

共に f であるとする。

【0033】図6(A)、(C)はともにレチクルパターン10中に形成される一部分のパターンの例を表わす図であり、図6(B)は図6(A)のレチクルパターンの場合に最適な2組の第1フライアイレンズの各中心のフーリエ変換面(照明光学系の瞳面)17での位置を示し、図6(D)は図6(C)のレチクルパターンの場合に最適な4組の第1フライアイレンズの各中心の瞳面17での位置を表す図である。

【0034】図6(A)は、いわゆる1次元ラインアンドスペースパターンであって、透過部と遮光部が等しい幅でY方向に帯状に並び、それらがX方向にピッチPで規則的に並んでいる。このとき、2組の第1フライアイレンズの最適位置は図6(B)に示すようにフーリエ変換面17内に仮定したY方向の線分 $L\alpha$ 上、及び線分 $L\beta$ 上の任意の位置となる。図6(B)はレチクルパターン10に対するフーリエ変換面17を光軸AX方向から見た図であり、かつ面17内の座標系X、Yは、同一方向からレチクルパターン10を見た図6(A)と同一にしてある。

【0035】さて、図6(B)において光軸AXが通る中心Cから各線分 $L\alpha$ 、 $L\beta$ までの距離 α 、 β は $\alpha=\beta$ であり、 λ を露光波長としたとき、 $\alpha=\beta=f \cdot (1/2) \cdot (\lambda/P)$ に等しい。この距離 $\alpha \cdot \beta$ を $f \cdot \sin \psi$ と表わせれば、 $\sin \psi = \lambda/2P$ である。従って、各第1フライアイレンズの各中心(各第1フライアイレンズの夫々によって作られる2次光源像の光量分布の各重心)位置が線分 $L\alpha$ 、 $L\beta$ 上であれば、図6(A)に示す如きラインアンドスペースパターンに対して、各フライアイレンズからの照明光により発生する0次回折光と ± 1 次回折光のうちのどちらか一方との2つの回折光は、投影光学系瞳面12において光軸AXからほぼ等距離となる位置を通る。従って、前述の如き1次元ラインアンドスペースパターン(図6(A))に対する焦点深度を最大とすることができ、かつ高解像度を得ることができる。

【0036】次に、図6(C)はレチクルパターン10がいわゆる孤立スペースパターンである場合であり、パターンのX方向(横方向)ピッチが P_x 、Y方向(縦方向)ピッチが P_y となっている。図6(D)は、この場合の4組の第1フライアイレンズの最適位置を表わす図であり、図6(C)との位置、回折関係は図6(A)、

(B)の関係と同じである。図6(C)の如き、2次元パターンに照明光が入射するとパターンの2次元方向の周期性(X: P_x 、Y: P_y)に応じた2次元方向に回折光が発生する。図6(C)の如き2次元パターンにおいても回折光中の ± 1 次回折光のうちのいずれか一方と0次回折光とが投影光学系瞳面12において光軸AXからほぼ等距離となるようにすれば、焦点深度を最大とすることができる。図6(C)のパターンではX方向のピ

ッチは P_x であるから、図6(D)に示す如く $\alpha=\beta=f \cdot (1/2) \cdot (\lambda/P_x)$ となる線分 $L\alpha$ 、 $L\beta$ 上に各第1フライアイレンズの中心があれば、パターンのX方向成分について焦点深度を最大とすることができる。同様に、 $r=\epsilon=f \cdot (1/2) \cdot (\lambda/P_y)$ となる線分 $L\gamma$ 、 $L\epsilon$ 上に各第1フライアイレンズの中心があれば、パターンのY方向成分について焦点深度を最大とすることができる。

【0037】以上、図6(B)、又は(D)に示した各位置に配置したフライアイレンズ群からの照明光束がレチクルパターン10に入射すると、0次回折光成分 D_0 と、+1次回折光成分 D_1 または-1次回折光成分 D_{-1} のいずれか一方とが、投影光学系11内の瞳面12では光軸AXからほぼ等距離となる光路を通る。従って、高解像及び大焦点深度の投影露光装置が実現できる。

【0038】以上、レチクルパターン10として図6(A)、(C)に示した2例のみを考えたが、他のパターンであってもその周期性(微細度)に着目し、そのパターンからの+1次回折光成分または-1次回折光成分のいずれか一方と0次回折光成分との2光束が、投影光学系内の瞳面12では光軸AXからほぼ等距離になる光路を通るような位置に各フライアイレンズの中心を配置すれば良い。また、図6(A)、(C)のパターン例は、ライン部とスペース部の比(デューティ比)が1:1のパターンであったため、発生する回折光中では ± 1 次回折光が強くなる。このため、 ± 1 次回折光のうちの一方と0次回折光との位置関係に着目したが、パターンがデューティ比1:1から異なる場合等では他の回折光、例えば ± 2 次回折光のうちの一方と0次回折光との位置関係が、投影光学系瞳面12において光軸AXからほぼ等距離となるようにしても良い。

【0039】また、レチクルパターン10が図6(D)の如く2次元の周期性パターンを含む場合、特定の1つの0次回折光成分に着目したとき、投影光学系の瞳面12上ではその1つの0次回折光成分を中心としてX方向(第1方向)に分布する1次以上の高次回折光成分と、Y方向(第2方向)に分布する1次以上の高次回折光成分とが存在し得る。そこで、特定の1つの0次回折光成分に対して2次元のパターンの結像を良好に行うものとする、第1方向に分布する高次回折光成分の1つと、第2方向に分布する高次回折光成分の1つと、特定の0次回折光成分との3つが、瞳面12上で光軸AXからほぼ等距離に分布するように、特定の0次回折光成分(1つの第1フライアイレンズ)の位置を調節すればよい。例えば、図6(D)中で第1フライアイレンズ中心位置を点P ξ 、P η 、P κ 、P μ のいずれかと一致させると良い。点P ξ 、P η 、P κ 、P μ はいずれも線分 $L\alpha$ または $L\beta$ (X方向の周期性について最適な位置、すなわち0次回折光とX方向の ± 1 次回折光の一方とが投影光学系瞳面12上で光軸からほぼ等距離となる位置)及び

線分 $L\gamma$ 、 $L\epsilon$ （Y方向の周期性について最適な位置）の交点であるためX方向、Y方向のいずれのパターン方向についても最適な光源位置となる。

【0040】尚、以上において2次元パターンとしてレチクル上の同一箇所に2次元の方向性を有するパターンを仮定したが、同一レチクルパターン中の異なる位置に異なる方向性を有する複数のパターンが存在する場合にも上記の方法を適用することができる。また、レチクル上のパターンが複数の方向性又は微細度を有している場合、第1フライアイレンズの最適位置は、上述のようにパターンの各方向性及び微細度に対応したものとなるが、あるいは各最適位置の平均位置に第1フライアイレンズを配置しても良い。また、この平均位置は、パターンの微細度や重要度に応じた重みを加味した荷重平均としても良い。

【0041】また、各第1フライアイレンズを射出した光束の0次光成分は、それぞれウェハに対して傾いて入射する。このときこれらの傾いた入射光束（複数）の光量重心の方向がウェハに対して垂直でないと、ウェハ13の微小デフォーカス時に、転写像の位置がウェハ面内方向にシフトするという問題が発生する。これを防止するためには、各第1フライアイレンズからの照明光束（複数）の結像面、もしくはその近傍の面上での光量重心の方向は、ウェハと垂直、すなわち光軸AXと平行であるようにする。つまり、各第1フライアイレンズに光軸（中心線）を仮定したとき投影光学系11の光軸AXを基準としたその光軸（中心線）のフーリエ変換面内での位置ベクトルと、各フライアイレンズ群から射出される光量との積のベクトル和が零になるようにすれば良い。

【0042】以上のように、各第1フライアイレンズの位置が決定されると、それに従って光束分割部材20～22の状態（図2、図3）が決定される。このとき、光束分割部材の位置等は最も効率良く（光量損失なく）、第1フライアイレンズに照明光を入射すべく決定する。尚、以上の系において、各動作部にはエンコーダ等の位置検出器を備えておくことと良い。図1中の主制御系50または駆動系56、58は、これらの位置検出器からの位置情報を基に各構成要素の移動、回転、交換を行なう。また、各フライアイレンズのレンズエレメントの形状であるが、通常レチクルの有効エリア、又は回路パターンエリアは直方形であることが多い。従って、第1フライアイレンズの各エレメントの入射面（レチクルパターンと結像関係：なぜなら射出面とレチクルパターン面はフーリエ変換の関係であり、入射面（光源側焦点面）と射出面（レチクル側焦点）も当然フーリエ変換の関係であるため）は、レチクルパターン面の平面形状に応じた矩形であると、効率良くレチクルのパターン部のみを照明できる。

【0043】第1フライアイレンズは、各上記エレメン

トの組みとして成るが、その全入射面の合計は任意の形状で良い。但し、この全入射面の合計と第2フライアイレンズの1つのエレメントの入射面は結像関係となるので、第2フライアイレンズの1つのエレメントの入射面と似たような形状であると光量損失が少なくて済む。例えば、第2フライアイレンズの1つのエレメントの入射面が長方形ならば、各第1フライアイレンズの全入射面もまた長方形とする。あるいは、第2フライアイレンズの1つのエレメントの入射面が正六角形ならば、各第1フライアイレンズの全入射面は、正六角形に内接するような形状とすると良い。

【0044】尚、第2フライアイレンズの1つのエレメントの入射面形状の像が、ガイド光学系によって各第1フライアイレンズの全入射面よりやや大きくなるように投影されると、第1フライアイレンズでの照度均一化効果が一層高まる。また、各第1フライアイレンズの射出面の大きさは、射出する各光束の1つあたりの開口数（レチクル上の角度分布の片幅）が、投影光学系のレチクル側開口数に対して0.1から0.3倍程度であると良い。これは0.1倍以下では転写パターン（像）の忠実度が低下し、0.3倍以上では高解像度かつ大焦点深度の効果が薄らぐからである。また、フライアイ型の代わりにロッド型のオブチカルインテグレータを使用しても全く同様の効果を得ることができる。

【0045】

【発明の効果】以上、本発明によれば、通常の透過及び遮光パターンから成るレチクルを使用しながら、従来より高解像度かつ大焦点深度の投影露光装置を実現することが可能である。また、本発明で使用する照明系は、通常の型式に比べて複雑となるが、2組の光束分割部材を用いて光源からの照明光束を4つの光束に分割するようにしたため、4組のフライアイレンズが任意の位置に変更されても、それに追従して4つの光束をその対応するフライアイレンズに集中して正確に入射させることができ、しかも光量損失を大幅に低減できる。さらに、各フライアイレンズから射出される光束の光量のばらつきもほぼ零とすることが可能となる。また、4組のフライアイレンズを用いているため、レチクル及びウェハ面での照度均一性も良好である。さらに、傾斜照明と通常照明との切り換え等を簡単に行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例による投影露光装置の構成を示す図。

【図2】図1中の2組の光束分割部材の構成を示す斜視図。

【図3】図1中の照明光学系の一部の具体的な構成を示す図。

【図4】4組のフライアイレンズの移動機構の構造を示す図。

【図5】フライアイレンズの照明光学系内での配置の原

理を説明する図。

【図6】フライアイレンズの配置方法を説明する図。

【符号の説明】

9 レチクル
11 投影レンズ

12 瞳

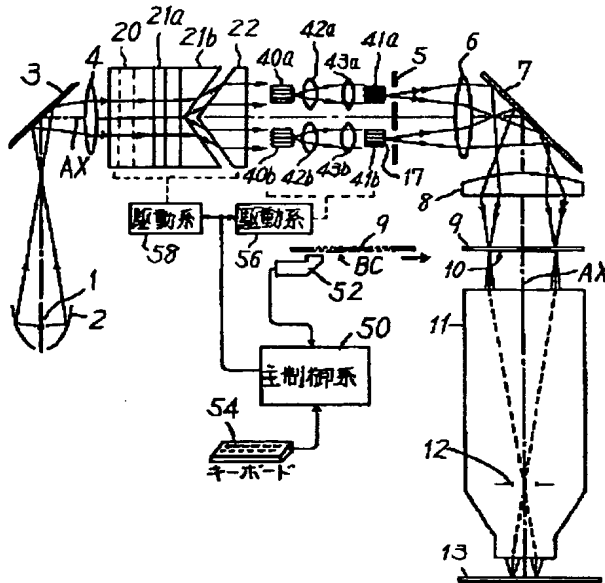
13 ウエハ

20、21、22 多面体プリズム

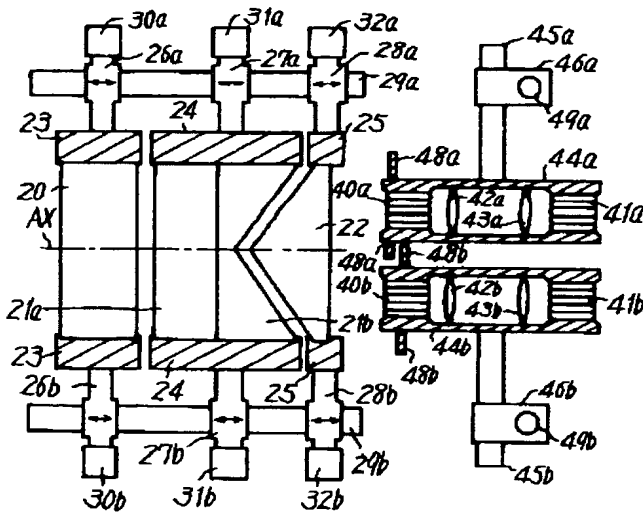
41a~41d 第1フライアイレンズ

40a~40d 第2フライアイレンズ

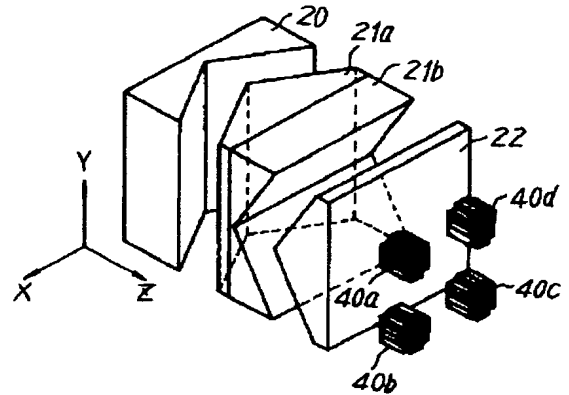
【図1】



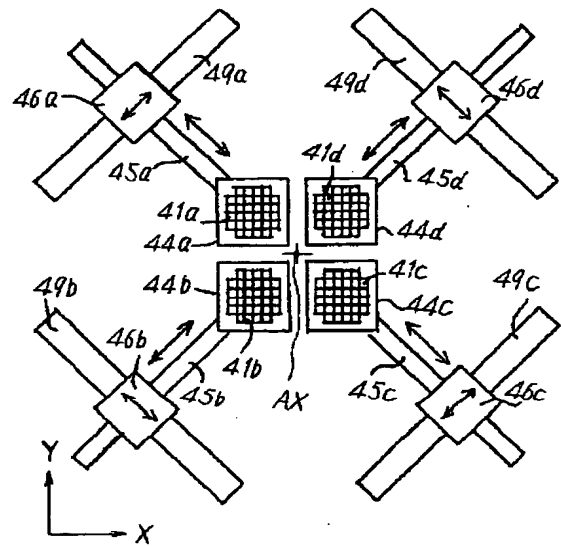
【図3】



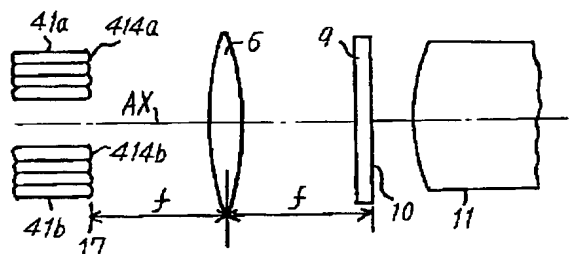
【図2】



【図4】



【図5】



【図 6】

